

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-369888

(43)Date of publication of application : 24.12.2002

(51)Int.Cl.

A61N 5/10

G06T 1/00

G06T 7/20

(21)Application number : 2001-182212

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 15.06.2001

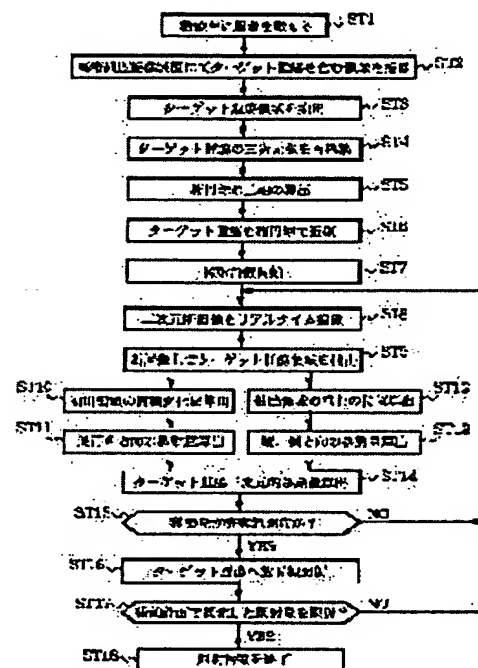
(72)Inventor : TAKAHASHI SHUICHI  
MUROI KATSUNOBU

## (54) METHOD FOR ESTIMATING THREE-DIMENSIONAL MOVEMENT OF RADIATION IRRADIATION TARGET AND RADIATION IRRADIATION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a three-dimensional movement estimation method for radiation irradiation target easily estimating the three-dimensional movement of a radiation irradiation target in real time.

SOLUTION: The method is provided with the elliptic ball approximation process step ST2-step ST6 of preparing an elliptic ball approximated to the radiation irradiation target from the picked-up image data of the radiation irradiation target, and the three-dimensional moving amount estimation process step ST8-step ST14 of obtaining the moving amount in x and y axis directions of the centroid of a two-dimensional tomographic image and the area change amount of the two-dimensional tomographic image from the image data of the picked-up two-dimensional tomographic image, obtaining the position in the z axis direction of the two-dimensional tomographic image from the constants of x, y and z axes of the prepared elliptic ball and the area change amount of the two-dimensional tomographic image, and estimating the three-dimensional moving amount of the radiation irradiation target from the obtained values.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

20.03.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-369888

(P2002-369888A)

(43)公開日 平成14年12月24日(2002.12.24)

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	テ-マ-ト*(参考)
A 6 1 N 5/10		A 6 1 N 5/10	M 4 C 0 8 2
G 0 6 T 1/00	2 9 0	G 0 6 T 1/00	2 9 0 A 5 B 0 5 7
7/20		7/20	B 5 L 0 9 6

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2001-182212(P2001-182212)

(22)出願日 平成13年6月15日(2001.6.15)

(71)出願人 00006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 高橋 修一

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72)発明者 室井 克信

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74)代理人 100066474

弁理士 田澤 博昭 (外1名)

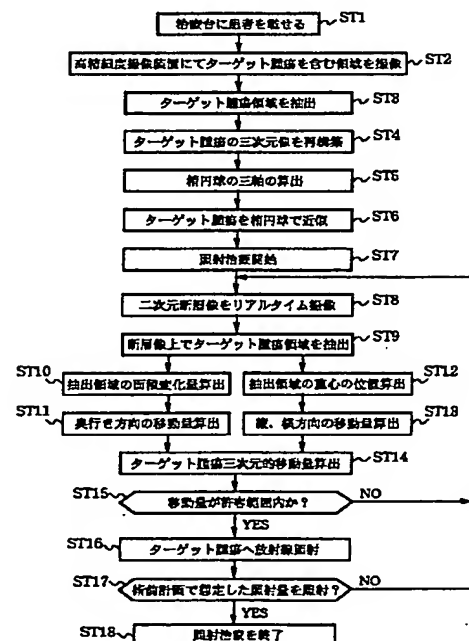
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法および放射線照射システム

(57)【要約】

【課題】 放射線照射ターゲットの三次元的な動きを簡便にリアルタイムで推定する放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法を得る。

【解決手段】 撮像された放射線照射ターゲットの画像データから放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成する楕円球近似工程ステップST2～ステップST6と、撮像された二次元断層像の画像データから二次元断層像の重心のx、y軸方向の移動量および二次元断層像の面積変化量を求め、作成された楕円球のx、y、z軸の定数および二次元断層像の面積変化量から二次元断層像のz軸方向の位置を求め、それら求められた値から放射線照射ターゲットの三次元移動量を推定する三次元移動量推定工程ステップST8～ステップST14とを備えた。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 放射線照射ターゲットを撮像し、その撮像された放射線照射ターゲットの画像データからその放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成する楕円球近似工程と、上記放射線照射ターゲットの二次元断層像を撮像し、その撮像された二次元断層像の画像データからその二次元断層像の重心の $x$ 、 $y$ 軸方向の移動量およびその二次元断層像の面積変化量を求め、上記楕円球近似工程により作成された楕円球の $x$ 、 $y$ 、 $z$ 軸の定数およびその求められた二次元断層像の面積変化量からその二次元断層像の $z$ 軸方向の位置を求め、それら求められた二次元断層像の重心の $x$ 、 $y$ 軸方向の移動量、二次元断層像の面積変化量、二次元断層像の $z$ 軸方向の位置および楕円球の $x$ 、 $y$ 、 $z$ 軸の定数からその放射線照射ターゲットの三次元移動量を推定する三次元移動量推定工程とを備えた放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法。

【請求項2】 楕円球近似工程は、撮像された放射線照射ターゲットの三次元画像データからボクセル間の距離を用いて $x$ 、 $y$ 、 $z$ 軸およびそれら $x$ 、 $y$ 、 $z$ 軸の両端を決定し、その放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成することを特徴とする請求項1記載の放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法。

【請求項3】 楕円球近似工程は、撮像された放射線照射ターゲットの三次元画像データから外接直方体を用いて $x$ 、 $y$ 、 $z$ 軸およびそれら $x$ 、 $y$ 、 $z$ 軸の両端を決定し、その放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成することを特徴とする請求項1記載の放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法。

【請求項4】 三次元移動量推定工程は、楕円球近似工程によって作成された楕円球の $x$ 、 $y$ 軸により作られる平面に対して平行となる放射線照射ターゲットの二次元断層像を撮像することを特徴とする請求項1から請求項3のうちのいずれか1項記載の放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法。

【請求項5】 三次元移動量推定工程は、放射線照射ターゲットの複数の二次元断層像を撮像し、それら撮像された複数の二次元断層像の画像データからその放射線照射ターゲットの三次元移動量を推定することを特徴とする請求項1から請求項4のうちのいずれか1項記載の放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法。

【請求項6】 放射線照射ターゲットに向けて放射線を照射する放射線照射装置と、上記放射線照射ターゲットを高精度に撮像する第1の撮像装置と、上記放射線照射ターゲットの二次元断層像をリアルタイムに撮像する第2の撮像装置と、上記第1の撮像装置により撮像された放射線照射ターゲットの画像データに基づいてその放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成し、上記第2の撮像装置により撮像された二次元断層像の画像データに基づいてその二次元断層像の重心の $x$ 、 $y$ 軸方向の

移動量およびその二次元断層像の面積変化量を求め、上記作成された楕円球の $x$ 、 $y$ 、 $z$ 軸の定数およびその求められた二次元断層像の面積変化量に応じてその二次元断層像の $z$ 軸方向の位置を求め、それら求められた二次元断層像の重心の $x$ 、 $y$ 軸方向の移動量、二次元断層像の面積変化量、二次元断層像の $z$ 軸方向の位置および楕円球の $x$ 、 $y$ 、 $z$ 軸の定数に応じてその放射線照射ターゲットの三次元移動量を推定し、その推定した三次元移動量に基づいて上記放射線照射装置を制御するデータ処理装置とを備えた放射線照射システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、例えば、体内に発生した腫瘍等の肉眼では直接観察できない照射ターゲットに対して放射線を集中的に照射して治療する放射線照射治療に使用される放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法および放射線照射システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】放射線照射治療は、患者の体内に発生した腫瘍に対して集中的に放射線を照射することにより、腫瘍を縮小、消滅することを目的とする治療法である。照射治療を行う場合、ターゲットとなる腫瘍に対して集中的にかつ適量の放射線を照射する必要がある。その一方でターゲット腫瘍周囲の健常組織に対しては、可能な限り放射線被曝が最小限になるようにする必要がある。このため、ターゲット腫瘍を中心として多方向から放射線照射を行うことにより、周辺健常組織に過大な放射線が蓄積されることなく、ターゲット腫瘍のみに集中的に放射線が蓄積されるように放射線照射計画が立案され、実施される。

【0003】しかし、ターゲット腫瘍は生体である患者の中に位置するため、一般に照射治療中にターゲット腫瘍の位置は変動する。この変動が放射線照射の照射精度の誤差となる。この誤差の発生の危険率を考慮して、実際の放射線照射では、ターゲット腫瘍が存在するであろう領域として、若干の余裕としてのマージンをターゲット腫瘍の周囲に想定して照射を行う。これはターゲット腫瘍周辺の健常組織への不要な放射線の被曝を招くこととなる。集中的な照射を精度良く効果的に実施するためには、姿勢変化や主に患者自身の呼吸や拍動等により、その位置が変化する患者体内のターゲット腫瘍の位置を精度良く計測し、照射装置の照射ヘッドとの相対的な位置を算出することにより、想定した領域内にターゲット腫瘍が存在するか否かを判断し、放射線照射の可否を決定する必要がある。

【0004】頭部領域での脳内腫瘍等に対する照射治療においては、ターゲット腫瘍の位置を精度良く計測する方法として、特開平8-71168号公報のように患者の頭部に金属等の硬質のフレームを装着する方法があ

る。頭部領域では頭蓋骨内に脳が位置し呼吸等による体動が少ないため、フレームを体表に固定し、装着位置を一定に保つことで、フレームとターゲット腫瘍との相対的な位置を照射治療中ほぼ不動とすることが可能である。フレームと照射装置の照射ヘッドとの相対的な位置は、フレームを治療台に固定することや、フレームに位置検出センサーを装着することにより、精度良く計測可能である。つまり、フレームの位置を精度良く計測することにより、ターゲット腫瘍への精度良い定位および放射線照射を実現している。

【0005】一方、腹部領域に発生した腫瘍は、患者の呼吸による影響を大きく受け、照射治療中には呼吸に伴い腫瘍ターゲットの位置は変動する。頭部領域とは異なり、腹部領域においては、フレーム固定の際の土台となるような骨が、腫瘍領域周辺に無い場合が殆どであり、体表も呼吸に伴い上下するため、頭部領域で行ったように体表にフレームをしっかりと固定することはできず、フレームとターゲット腫瘍との相対的な位置を不動とすることは不可能である。

【0006】低侵襲的な方法としては、体表にマーカー等を貼り付け、このマーカーの位置を光学的、電磁的手段等により計測する方法もあるが、マーカーとターゲット腫瘍との相対的な位置は、一般に呼吸に伴い変動するため、例えばマーカーの位置を正確に計測できたとしても、ターゲット腫瘍の位置を正確に計測することはできない。

【0007】ターゲット腫瘍の位置をより精度良く計測するものの一つとして、文献1「H. Shirato, S. Shimizu, K. Kitamura, T. Nishioka, K. Kagei, S. Hashimoto, H. Aoyama, T. Kunieda, N. Shinohara, "FOUR-DIMENSIONAL TREATMENT PLANNING AND FLUOROSCOPIC REAL-TIME TUMOR TRACKING RADIOTHERAPY FOR MOVING TUMOR", Int. J. Radiation Oncology Bio. Phys., Vol. 48, No. 2, pp. 435-442, 2000」に示すような、ターゲット腫瘍周辺に金属球等のマーカーを埋め込む方法が挙げられる。この場合、マーカーはターゲット腫瘍との相対的な位置が変動しない位置に埋め込むことが図られる。そして、三次元的にこのマーカーの位置変動をリアルタイムで精度良く計測することが可能ならば、ターゲット腫瘍の位置変動もリアルタイムで精度良く計測されることとなる。

【0008】マーカーに発信機等の能動的な素子を装着して、体外の受信機等に伝送されてきた信号より、マーカーの位置を算出する方法も考えられるが、人体に埋め込むことができ、かつ回りの組織の動きに影響を与えない程度の小型なものの作成は容易ではなく、また、その

位置検出精度はあまり良いものではない。

【0009】放射線照射治療において、患者の呼吸等による照射中のターゲットの動き追跡を目的として、近年、照射中のターゲット領域の断層像を撮像し、ターゲットの動きをモニタリングすることが提案、実用されている。その一例としては、特表平11-501534号公報等が挙げられる。これにより、腫瘍ターゲットやマーカーを含む領域を撮像し、もし三次元的に画像データを得られれば、マーカーやターゲット腫瘍の位置変動を三次元的に精度良く計測できる。

【0010】但し、この撮像は、照射の妨げにならないようにする必要があり、大掛かりな撮像装置を用いることは難しい。また、三次元的な撮像やデータ処理には、二次元的なものに比べて、比較的長い処理時間を要し、リアルタイムでの腫瘍の動きのモニタリングが困難であることが殆どである。

【0011】そこで一般には、断層像等の画像データを撮像し、この画像データから抽出される情報を用いて、マーカーの位置やターゲット腫瘍の位置が算出され、ターゲット腫瘍の動きがモニタリングされる。そして、断層像の奥行き方向へのターゲット腫瘍の動きは殆どないと見なして、断層像上でのターゲット腫瘍の縦、横方向の位置変動のみに限定して算出し、動きのリアルタイムでのモニタリングを実現している。

【0012】一方患者の呼吸等による照射ターゲットの動きは、縦、横、深さ方向に三次元的であり、たとえ断層像の位置と向きとを適切に選択したとしても、その動きは撮像された二次元断面上に限定されず、断層像に対して垂直方向にも動くことは避けられない。このため三次元的に動くターゲット腫瘍に対しては、動き追跡精度が低下し、その結果、照射精度が低下することが避けられない。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】従来の放射線照射治療方法は以上のように構成されているので、照射ターゲットの動きを簡便にリアルタイムでモニタリングするためには、照射ターゲットを三次元的に撮像する方法ではなく、二次元的に撮像する方法が用いられるが、三次元的に動く照射ターゲットに対しては、動き追跡精度が低下し、その結果、照射精度が低下してしまうなどの課題があった。

【0014】この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、放射線照射ターゲットの三次元的な動きを簡便にリアルタイムで推定する放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法および放射線照射システムを得ることを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】この発明に係る放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法は、撮像された放射線照射ターゲットの画像データから放射線照射ターゲッ

トに近似した楕円球を作成する楕円球近似工程と、撮像された二次元断層像の画像データから二次元断層像の重心の $x$ 、 $y$ 軸方向の移動量および二次元断層像の面積変化量を求め、作成された楕円球の $x$ 、 $y$ 、 $z$ 軸の定数および二次元断層像の面積変化量から二次元断層像の $z$ 軸方向の位置を求め、それら求められた値から放射線照射ターゲットの三次元移動量を推定する三次元移動量推定工程とを備えたものである。

【0016】この発明に係る放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法は、楕円球近似工程において、撮像された放射線照射ターゲットの三次元像画像データからボクセル間の距離を用いて、その放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成するようにしたものである。

【0017】この発明に係る放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法は、楕円球近似工程において、撮像された放射線照射ターゲットの三次元像画像データから外接直方体を用いて、その放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成するようにしたものである。

【0018】この発明に係る放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法は、三次元移動量推定工程において、楕円球の $x$ 、 $y$ 軸により作られる平面に対して平行となる放射線照射ターゲットの二次元断層像を撮像するようにしたものである。

【0019】この発明に係る放射線照射ターゲットの三次元動き推定方法は、三次元移動量推定工程において、放射線照射ターゲットの複数の二次元断層像を撮像し、それら撮像された複数の二次元断層像の画像データからその放射線照射ターゲットの三次元移動量を推定するようにしたものである。

【0020】この発明に係る放射線照射システムは、放射線照射ターゲットに向けて放射線を照射する放射線照射装置と、放射線照射ターゲットを高精細度で撮像する第1の撮像装置と、放射線照射ターゲットの二次元断層像をリアルタイムで撮像する第2の撮像装置と、第1の撮像装置により撮像された放射線照射ターゲットの画像データに基づいて放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成し、第2の撮像装置により撮像された二次元断層像の画像データに基づいて二次元断層像の重心の $x$ 、 $y$ 軸方向の移動量および二次元断層像の面積変化量を求め、作成された楕円球の $x$ 、 $y$ 、 $z$ 軸の定数および二次元断層像の面積変化量に応じて二次元断層像の $z$ 軸方向の位置を求め、それら求められた値に応じて放射線照射ターゲットの三次元移動量を推定し、その推定した三次元移動量に基づいて放射線照射装置を制御するデータ処理装置とを備えたものである。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の一形態を説明する。

実施の形態1. 図1はこの発明の実施の形態1による放射線照射システムを示す構成図であり、図において、1

は患者、2は治療台、3は患者1のターゲット腫瘍に対し、照射ヘッド3aから集中的に放射線を照射する放射線照射装置である。4はリアルタイム撮像はできないが高精細度でターゲット全体を撮像できる高精細度撮像装置（第1の撮像装置）であり、4aはその撮像ヘッドである。5はリアルタイムで少なくとも1ボクセルの厚みの二次元断層像を撮像できるリアルタイム撮像装置（第2の撮像装置）であり、5aはその撮像ヘッドである。6は高精細度撮像装置4およびリアルタイム撮像装置5から得られる撮像データセットをデータ処理して、ターゲット腫瘍の三次元移動量を推定し、その推定した三次元移動量に基づいて放射線照射装置3に照射の可否の情報を与えるデータ処理装置である。

【0022】次に動作について説明する。放射線照射装置3は、患者1のターゲット腫瘍に対し、照射ヘッド3aより集中的に放射線を照射するものであり、データ処理装置6からの制御信号により、その照射をオン・オフされ得るものである。高精細度撮像装置4は、リアルタイムでの撮像データセットの撮像および収集はできないが、ターゲット腫瘍が位置する領域全体を撮像可能であり、照射治療に要求される空間分解能を満たすような高精細度画像データをボリュームデータとして撮像および収集可能なものである。なお、撮像データセットには、撮像した画像データ、位置情報、および時刻等が含まれるものである。リアルタイム撮像装置5は、ボリュームデータでは無理でも、少なくとも1ボクセル厚の断層像でならリアルタイムでの撮像データセットの撮像および収集可能なものである。高精細度撮像装置4とリアルタイム撮像装置5との撮像方法は、機能を満たせばいかなるものでも良く、例えば、X線CT撮像装置と超音波撮像装置との組み合わせや、超音波撮像装置のみを用いて撮像ヘッドであるプローブを走査して、ターゲット腫瘍の全体像を撮像して、高精細度撮像装置4として機能させ、一方でプローブを固定して二次元断層像をリアルタイム撮像してリアルタイム撮像装置5として機能させることなどが考えられる。

【0023】照射治療中における放射線照射装置3、高精細度撮像装置4の撮像ヘッド4a、リアルタイム撮像装置5の撮像ヘッド5aの相対位置は、既知もしくは計測可能なものとする。これらの相対位置を計測するものとしては、機械的に計測するもの、光を用いて計測するもの、電磁気を用いて計測するもの、音波を用いて計測するもの等が挙げられる。また、複数の方式を組み合わせることにより、精度の向上が期待できる。一般に、撮像ヘッド4a、5aに対する撮像データセットの相対位置は既知であるので、結果的に各々の機器と撮像データセットとの相対位置も計測可能となる。また、放射線照射治療装置3の照射ヘッド3aと照射ビームとの相対的な位置や向きは、照射治療中において通常把握されている。この結果、撮像データセットから抽出されるターゲ

ット腫瘍領域と照射ビームとの相対的な位置が計測可能なこととなる。

【0024】計測空間内でのターゲット腫瘍の相対位置が判れば、患者1を治療台2に金属フレーム等でしっかりと固定する必要はなく、高精細度撮像装置4とリアルタイム撮像装置5の撮像ヘッド4a、5aを患者1にしっかりと固定する必要もない。治療台2に対する患者1の姿勢も、座位、臥位、立位等自由である。データ処理装置6は、高精細度撮像装置4およびリアルタイム撮像装置5からのそれぞれの撮像データセットを入力し、それらの撮像データセットからターゲット腫瘍についての画像データを抽出し、さらに、ターゲット腫瘍の位置情報を三次元的に算出し、この位置情報に基づいて放射線照射の可否を判断して、放射線照射装置3に制御信号を与えるものである。

【0025】図2はこの発明の実施の形態1による放射線照射システムの処理方法を示すフローチャートであり、以下、順を追って手順を説明する。まず、患者1を照射治療に都合の良い位置で治療台2上に載せる（ステップST1）。放射線を照射し始める前に、高精細度撮像装置4を用いてターゲット腫瘍を包括する領域全体を撮像する（ステップST2：楕円球近似工程）。この撮像の際には、リアルタイム性は必ずしも要求はされず、コントラストを持たせて精度良くターゲット腫瘍領域を抽出できる撮像を行う。撮像した撮像データセットをデータ処理装置6に送り、そのデータ処理装置6によりターゲット腫瘍領域を抽出し（ステップST3：楕円球近似工程）、ターゲット腫瘍の三次元像を再構築する（ステップST4：楕円球近似工程）。

【0026】領域抽出の方法としては、ピクセルとかボクセルとかと呼ばれる画像要素の輝度値によるしきい値処理を用いた手法や、その輝度の勾配に注目した手法、それらの分布に注目した文献2「Y. Sato, C. F. Westin, A. Bhalerao, S. Nakajima, N. Shiraga, A. Tanuma, R. Kikinis, "Tissue Classification Based on 3D Local Intensity Structure for Volume Rendering", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 6, No. 2, pp. 160-180, 2000」による手法等が例として挙げられる。

【0027】三次元像の再構築法としては、ポリゴンにより三次元像を構成させるものや、ボクセルにより三次元像を構成させるものが挙げられるが、後者の方がこの後のデータ処理での扱いが一般的に容易である。放射線照射治療のターゲットとなるものは一般に体内に発生した腫瘍であり、この腫瘍の多くは画像データ上においては、楕円球に類似した形状であることが多い。そこでこ

の腫瘍の三次元再構築像が楕円球で近似できるものとする。二次元断層像は、この楕円球のある一断面を切り取ったものであり、その断面形状は楕円となる。ターゲット腫瘍が動けば、断層像上でのターゲットの断面もそれに応じて位置や断面積が変化することとなる。

【0028】ターゲット腫瘍を楕円球で近似するに当たって、まず、楕円球の直行する三軸、つまり最も長い軸（第1軸）と、そして第1軸の中点を通り互いに直交し次に長い第2軸と、最も短い第3軸とを求める（ステップST5：楕円球近似工程）。

【0029】この三軸を求める方法の一つとしては、第1軸、第2軸、第3軸の順に順次求めていく方法が挙げられる。まず、ターゲット腫瘍の三次元像を構成する全てのボクセル間においてその距離を計算し、その中で最も距離が遠い二つのボクセルを第1軸の両端とする。次に、第1軸の中点を通りかつ第1軸に直交する平面を考える。ターゲット腫瘍の再構築像を構成するボクセルのうち、この平面上に位置する全てのボクセルに対してボクセル間の距離を計算する。その中で最も距離が遠い二つのボクセルを第2軸の両端とする。第3軸は、第2軸を決定した同一平面上で、第2軸に直交するように決定する。この3軸から定義される楕円球としてターゲット腫瘍を近似する（ステップST6：楕円球近似工程）。

【0030】三軸を求めるもう一つの方法としては、外接直方体を作成し、これより求める方法が挙げられる。まず、ターゲット腫瘍の再構築像に外接する直方体を考える。外接直方体としてはいくつかの直方体が候補として作成可能な場合があるが、その場合は最もびつたりと外接しているものを一つ選ぶ。この選び方の方法の一つとしては、ターゲット腫瘍の体積と外接直方体の体積との比が最も1に近いものを選ぶ方法が挙げられる。選ばれた直方体において向き合う面の中心点同士を結び3本の軸を得る。長いものから順に、第1軸、第2軸、第3軸とする。この3軸から定義される楕円球としてターゲット腫瘍を近似する。（ステップST6：楕円球近似工程）。

【0031】ターゲット腫瘍を近似する楕円球を作成できたら、リアルタイム撮像装置5の撮像ヘッド5aを患者1の体表に設置する。この際、近似楕円球の三軸のいずれか二軸により作られる平面に対して、撮像ヘッド5aにより撮像される断層像が平行に位置するように撮像ヘッド5aを設置する。なお、データ処理装置6において、リアルタイム撮像装置5により撮像された画像データを、近似楕円球の二軸の平面に対して平行になるように座標変換処理を行うようにすれば、上記のように撮像ヘッド5aを設置する必要はない。

【0032】撮像ヘッド5aを設置後、照射治療を開始する（ステップST7）。照射中はリアルタイム撮像装置5により、絶えずリアルタイムでターゲット腫瘍を横断する断層像が撮像され、ターゲット腫瘍の動きに伴

い、断層像の位置や面積も変化する（ステップST8：三次元移動量推定工程）。撮像された撮像データセットは、データ処理装置6に送られ、ターゲット腫瘍領域が抽出される（ステップST9：三次元移動量推定工程）。

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 + z^2/c^2 = 1 \quad (1)$$

但し、a、b、cは楕円球の各軸の長さの1/2に等しい定数と記述される。xy平面と得られる断層像とが平

$$x = R \cdot a \cdot \cos \theta$$

$$y = R \cdot b \cdot \sin \theta$$

但し、 $R = \sqrt{1 - z^2/c^2}$ 、 $0 \leq \theta < 2\pi$ と記述される。この時、断面積、つまり輪郭内の面積S

$$S = \pi \cdot R^2 \cdot a \cdot b$$

$$= \pi \cdot a \cdot b \cdot (1 - z^2/c^2)$$

となる。さらに、z、つまり断層像に対して垂直方向に

$$dS/dz = -2 \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot z / c^2 \quad (4)$$

となる。

【0034】ターゲット腫瘍の動きに伴う断層像の面積変化は、リアルタイム撮像装置5により、撮像された二次元断層像のピクセルの数を所定単位時間毎に数えるこ

$$\Delta z = -c^2 \cdot \Delta S / (2 \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot z') \quad (5)$$

但し、z'は、所定単位時間前のz（z軸方向の位置）の値であり、次回計算時のz'は、z' + Δzと近似できる（ステップST11：三次元移動量推定工程）。

【0035】また、ターゲット腫瘍の二次元断層像の重心の位置は、撮像された二次元断層像上のピクセルの座標の平均値から求めることができる（ステップST12：三次元移動量推定工程）。そして、所定単位時間毎に二次元断層像の重心の位置の縦、横方向への移動量Δ

$$\Delta L = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2 + c^4 \cdot \Delta S^2 / (2 \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot z')^2)} \quad (6)$$

と算出される（ステップST14：三次元移動量推定工程）。

【0037】リアルタイム撮像装置5により、この三次元移動量ΔLが、許容範囲内にある時は放射線照射装置3の放射線照射を行い、逸脱した際には照射を停止することにより、精度良い照射を実現する（ステップST15、ステップST16）。そして、術前計画で想定した照射量に達するまで照射治療を継続する。なお、照射量に達してなければ、ステップST8へ処理を移す（ステップST17）。想定した照射量に達したら、照射を終了する（ステップST18）。

【0038】以下、リアルタイム撮像装置5の設置位置について補足する。図3および図4は二次元断層像の撮像位置を示す説明図である。上記式（5）から判るように、リアルタイム撮像装置5により得られる断層像が、近似楕円球のxy平面に一致している場合には、係数の分母がゼロとなり、適切なΔz値が得られない。これに対する対処法としては、図3に示したように、xy平面からある程度の距離を隔てた二次元断層像を撮像する方

【0033】ターゲット腫瘍を楕円球で近似した場合、xyz座標系の原点と楕円球の中心とは一致するものとし、楕円球の三軸がxyz座標軸に一致すると考えると、この楕円球の表面は一般に、

行であると考え、断層上のターゲットの断面を近似する楕円の輪郭は、

$$(2)$$

は、

$$(3)$$

について両辺を微分すると、

$$(4)$$

とによって求めることができる（ステップST10：三次元移動量推定工程）。そして、ある時刻での断面積の変化量をΔSとすれば、その時に深さ方向に動いた距離Δzは、上記式（4）から、

x、Δyを求める（ステップST13：三次元移動量推定工程）。

【0036】以上により、固定した二次元断層像上で、重心のx、y方向の移動量Δx、Δy、断面積の変化量ΔS、z軸方向の位置z'、および楕円球の各軸の定数a、b、cより、ターゲット腫瘍の三次元移動量ΔLは、

法、図4に示したように、二つのリアルタイム撮像用の撮像ヘッドを用いる方法、さらには、それ以上の数の撮像ヘッドを用いる方法等が挙げられる。特に二つもしくはそれ以上の撮像ヘッドを用いる場合には、図4に示したように、近時楕円球の中心に対称に位置させると、それぞれからの算出値の平均をとる等して、三次元移動量ΔLの算出精度の向上が期待できる。

【0039】以上のように、この実施の形態1によれば、三次元超音波のような高価な装置を用いることなく、ルーティンの診断等に使用される簡便な装置により、ターゲット腫瘍の三次元的な動きをリアルタイムで推定することが可能となる。また、患者をフレーム等でしっかりと治療台2に固定することなく、照射治療を行うことが可能となる。さらに、放射線照射領域に限定されず、その他工業分野等にも利用できるものであり、地中や遠隔的な計測に応用可能である。

【0040】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、撮像された放射線照射ターゲットの画像データから放射線照



射ターゲットに近似した楕円球を作成する楕円球近似工程と、撮像された二次元断層像の画像データから二次元断層像の重心の  $x$ ,  $y$  軸方向の移動量および二次元断層像の面積変化量を求め、作成された楕円球の  $x$ ,  $y$ ,  $z$  軸の定数および二次元断層像の面積変化量から二次元断層像の  $z$  軸方向の位置を求め、それら求められた値から放射線照射ターゲットの三次元移動量を推定する三次元移動量推定工程とを備えるように構成したので、放射線照射ターゲットの三次元的な動きを簡便にリアルタイムで推定することができる。また、この方法を照射治療に適用する場合には、患者をフレーム等によりしっかりと固定することなく、照射治療を行うことができる効果がある。

【0041】この発明によれば、楕円球近似工程において、撮像された放射線照射ターゲットの三次元画像データからボクセル間の距離を用いて、その放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成するように構成したので、三次元画像データのボクセルから容易に放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成することができる効果がある。

【0042】この発明によれば、楕円球近似工程において、撮像された放射線照射ターゲットの三次元画像データから外接直方体を用いて、その放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成するように構成したので、三次元画像データの外接直方体から容易に放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成することができる効果がある。

【0043】この発明によれば、三次元移動量推定工程において、楕円球の  $x$ ,  $y$  軸により作られる平面に対して平行となる放射線照射ターゲットの二次元断層像を撮像するように構成したので、座標変換処理を行うことなく、放射線照射ターゲットの三次元移動量を推定することができる効果がある。

【0044】この発明によれば、三次元移動量推定工程において、放射線照射ターゲットの複数の二次元断層像を撮像し、それら撮像された複数の二次元断層像の画像データからその放射線照射ターゲットの三次元移動量を推定するように構成したので、適切な二次元断層像の  $z$  軸方向の位置が得られると共に、三次元移動量を精度高

く推定することができる効果がある。

【0045】この発明によれば、放射線照射ターゲットに向けて放射線を照射する放射線照射装置と、放射線照射ターゲットを高精度に撮像する第1の撮像装置と、放射線照射ターゲットの二次元断層像をリアルタイムに撮像する第2の撮像装置と、第1の撮像装置により撮像された放射線照射ターゲットの画像データに基づいて放射線照射ターゲットに近似した楕円球を作成し、第2の撮像装置により撮像された二次元断層像の画像データに基づいて二次元断層像の重心の  $x$ ,  $y$  軸方向の移動量および二次元断層像の面積変化量を求め、作成された楕円球の  $x$ ,  $y$ ,  $z$  軸の定数および二次元断層像の面積変化量に応じて二次元断層像の  $z$  軸方向の位置を求め、それら求められた値に応じて放射線照射ターゲットの三次元移動量を推定し、その推定した三次元移動量に基づいて放射線照射装置を制御するデータ処理装置とを備えるように構成したので、放射線照射ターゲットの三次元的な動きを簡便にリアルタイムで推定することができる。また、この装置を照射治療に適用する場合には、患者をフレーム等によりしっかりと固定することなく、照射治療を行うことができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1による放射線照射システムを示す構成図である。

【図2】 この発明の実施の形態1による放射線照射システムの処理方法を示すフローチャートである。

【図3】 二次元断層像の撮像位置を示す説明図である。

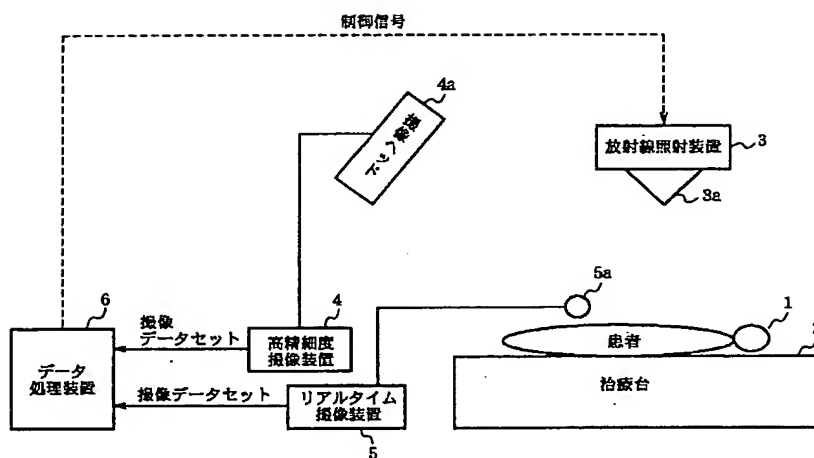
【図4】 二次元断層像の撮像位置を示す説明図である。

【符号の説明】

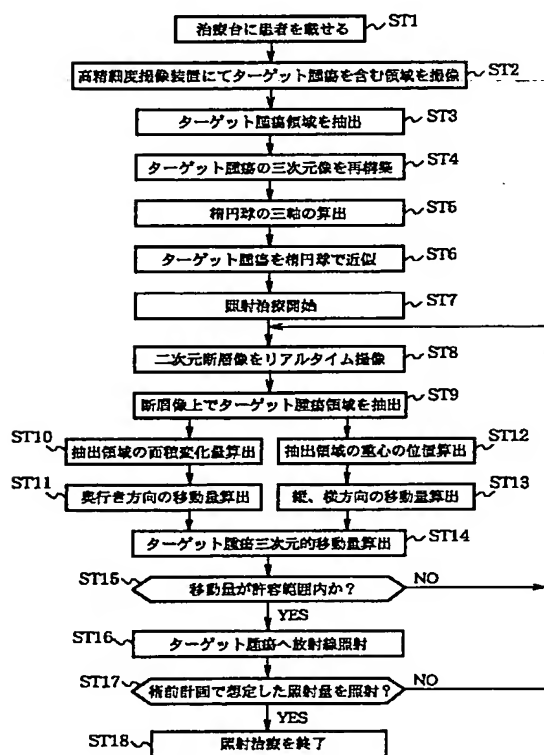
1 患者、2 治療台、3 放射線照射装置、3a 照射ヘッド、4 高精度撮像装置（第1の撮像装置）、4a 撮像ヘッド、5 リアルタイム撮像装置（第2の撮像装置）、5a 撮像ヘッド、6 データ処理装置、ステップST2～ステップST6 楕円球近似工程、ステップST8～ステップST14 三次元移動量推定工程。



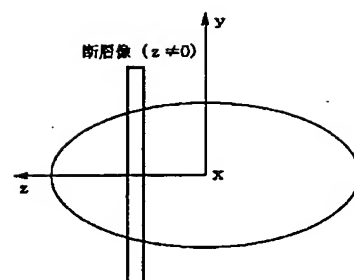
【図1】



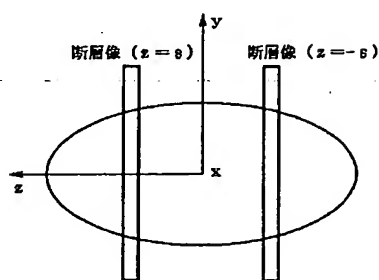
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

F ターム(参考) 4C082 AE01 AJ07 AL01 AL04  
5B057 AA08 BA03 CA02 CA08 CA12  
CA16 CB02 CB08 CB13 CB16  
CC03 CD14 CE08 DA07 DA08  
DA17 DB02 DB05 DB09 DC04  
DC06 DC36  
5L096 AA03 AA06 BA06 CA04 DA02  
FA59 FA60 FA69 HA04